

Construction of high-efficient jet, allowing to form stream of ring cross-section, providing sharp decrease of power inputs for purification and decrease of water flow, is developed.

Ю. П. ЛЕДЯН, В. В. СЕЛИВОНЧИК, М. К. ЩЕРБАКОВА, БНТУ

УДК 621.74:628.33

ПРИМЕНЕНИЕ СТРУЙНОЙ АЭРАЦИИ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОЧИСТКИ ВОДЫ В СИСТЕМЕ ОБОРОТНОГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ ЛИТЕЙНОГО ЦЕХА

В современных литейных цехах на различных технологических операциях широко используется техническая вода, которая применяется в мокрых пылеуловителях для очистки газов плавильных агрегатов, в системах охлаждения вагранок и электропечей, при грануляции шлака, гидровывивке стержней и других операциях [1].

Эффективная очистка использованной воды возможна только в оборотных системах водоснабжения. В связи с тем что химический и минералогический состав твердых мелкодисперсных частиц, содержащихся в оборотной воде, колеблется в весьма широком диапазоне очистка воды от находящихся в ней частиц представляет собой достаточно сложную техническую проблему.

Из всех применяющихся в настоящее время эффективных способов очистки воды от взвешенных частиц в оборотных системах водоснабжения промышленных предприятий наиболее эффективным является флотация [2]. Флотационный способ очистки оборотной воды основан на различной способности твердых частиц удерживаться на границе раздела фаз (жидкость–газ–твердое) в жидкой среде. Плохо смачиваемые водой (гидрофобные) частицы, например кокса, прилипают к пузырькам воздуха, всплывают на поверхность жидкой фазы и образуют минерализованную пену, а хорошо смачиваемые (гидрофильные) частицы, например кварца, не прилипают к пузырькам и осаждаются на дно бака-отстойника.

Для повышения эффективности осаждения гидрофильных частиц могут быть использованы растворы флокулянтов, обеспечивающих образование крупных флоккул, быстроосаждающихся на дно.

Для удаления гидрофобных частиц из находящейся в баке-отстойнике оборотной воды ее необ-

ходимо аэрировать, т. е. создать в объеме воды большое количество мелкодисперсных пузырьков воздуха, которые и осуществляют процесс флотации, обеспечивающий образование на поверхности воды минерализованной пены.

Применительно к условиям литейного цеха наиболее простым, дешевым и эффективным методом создания пены является струйная аэрация. Струя жидкости при вхождении ее в поверхность пульпы увлекает за собой большое количество воздуха, обеспечивая тем самым осуществление процесса флотации и удаление в пену гидрофобных частиц.

Струйная аэрация обычно создается с помощью струй круглого сечения, вызываемых форсунками. Воздух эжектируется поверхностью струи, имеющей многочисленные выступы и каверны [3] (рис. 1).

Для обеспечения эффективной флотации с минимальными энергозатратами форсунка должна обеспечивать максимальную степень эжекции, ко-

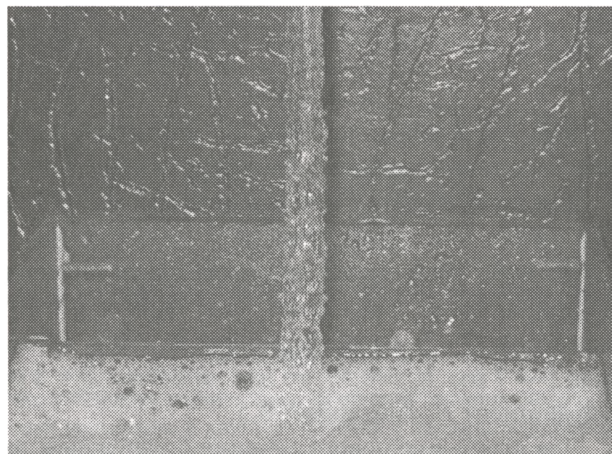


Рис. 1. Поверхность водяной струи

торая представляет собой отношение расхода, аэрированного струей воздуха, к расходу воды [4]:

$$\Xi = \frac{Q_1}{Q_2}, \quad (1)$$

где Q_1 , Q_2 – соответственно расход воздуха и воды.

В результате проведенных в БНТУ исследований была разработана специальная форсунка, создающая струю кольцевого сечения. Струя кольцевого сечения имеет как наружную поверхность (такую же, как и обычная струя круглого сечения), так и внутреннюю, так как сама струя представляет собой водяную трубку, стенками которой и является вода. Суммарная поверхность кольцевой струи значительно больше, чем традиционной струи круглого сечения при одинаковом наружном диаметре. Для струи круглого сечения отношение площади наружной поверхности к ее объему определяется следующим образом:

$$K_1 = \frac{S_1}{W_1}, \quad (2)$$

где S_1 – площадь боковой поверхности струи, равная πDL ; W_1 – объем жидкости в струе, равный $\frac{\pi D^2}{4} L$ (D – диаметр струи; L – ее длина). Таким образом, для струи круглого сечения:

$$K_1 = \frac{4\pi DL}{\pi D^2 L} = \frac{4}{D}. \quad (3)$$

Для струи кольцевого сечения:

$$K_2 = \frac{S_2}{W_2}, \quad (4)$$

где S_2 – суммарная наружная и внутренняя боковая поверхность струи, равная $\pi(D+d)L$; W_2 – объем стенки струи, равный $\frac{\pi}{4}(D^2 - d^2)L$;

$$K_2 = \frac{4\pi(D+d)L}{\pi(D^2 - d^2)L} = \frac{4(D+d)}{D^2 - d^2}; \quad (5)$$

D – наружный диаметр струи; d – внутренний диаметр кольцевого сечения; L – длина струи.

Для струи круглого сечения диаметром $D = 5$ мм $K_1 = 0,8$.

По мере увеличения диаметра струи значение коэффициента K_1 снижается. Так, если для струи диаметром $D = 5$ мм коэффициент $K_1 = 0,8$, диаметром $D = 7$ мм $K_1 = 0,57$, то для диаметра $D = 8$ мм коэффициент K_1 составляет 0,5.

Для струи кольцевого сечения с наружным диаметром $D = 5$ мм и внутренним $d = 4$ мм $K_2 = 4$.

Таким образом, отношение площади поверхности струи кольцевого сечения к ее объему в 5 раз больше аналогичного параметра, рассчитанного для струи круглого сечения при одинаковых наружных диаметрах струй. В связи с этим степень эжекции Ξ (см. выражение (1)) для струи кольцевого сечения должна быть соответственно выше, чем для струи круглого сечения.

Расход воздуха, эжектированного струей, в проведенных исследованиях определяли методом водяного колокола, воду из которого вытесняли пузырьками воздуха, эжектированного струей. Расход воды в экспериментах определяли объемным способом с помощью мерной емкости. Каждый опыт проводили не менее трех раз и выбирали среднеарифметическое значение контролировавшихся параметров.

При разработке конструкции форсунок и технологического процесса струйной аэрации главной задачей является достижение максимальной степени эжекции воздуха при минимальном расходе подаваемой форсункой воды.

В ходе проведенных исследований отрабатывали не только конструкцию форсунок, предназначенных для осуществления процесса струйной аэрации, но и изучали влияние различных конструктивных и технологических параметров на эффективность процесса флотации гидрофобных частиц, удаляемых из системы оборотного водоснабжения вместе с минерализованной пеной.

Исследование влияния скорости истечения воды из сопла форсунки, создающей струю круглого сечения, на степень эжекции воздуха показало, что для струй диаметром $D = 5$ мм (рис. 2, кривая 1) и для струй диаметром $D = 7$ мм (кривая 2) связь между рассматриваемыми параметрами изменяется по одной и той же зависимости. Для струй круглого поперечного сечения диаметром

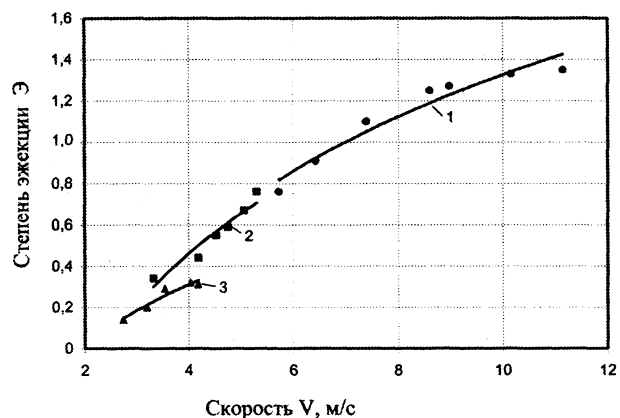


Рис. 2. Влияние скорости истечения воды на степень эжекции воздуха для струи круглого сечения: 1 – $D = 5$ мм; 2 – 7; 3 – 8 мм

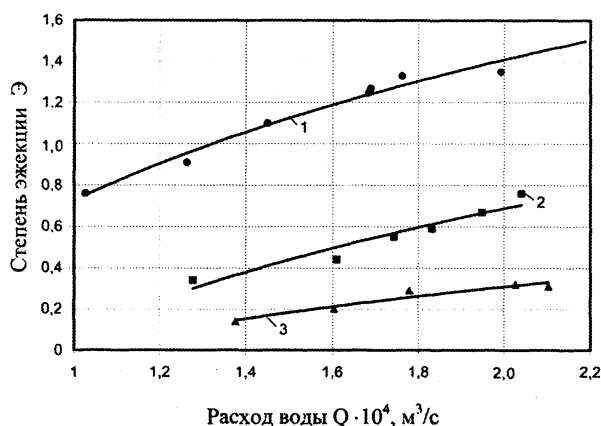


Рис. 3. Влияние расхода воды на степень эжекции воздуха для струи круглого сечения: 1 – $D = 5$ мм; 2 – 7; 3 – 8 мм

$D = 8$ мм (кривая 3) зависимость степени эжекции от скорости истечения струи носит несколько иной характер.

Совершенно другая картина наблюдается для зависимости степени эжекции от расхода воды (рис. 3). Использование форсунок, создающих струи кольцевого сечения диаметром $D = 5$ мм, обеспечивает максимальную степень эжекции (кривая 1) при одинаковых расходах подаваемой воды по сравнению со струями диаметром $D = 7$ мм (кривая 2) и диаметром $D = 8$ мм (кривая 3).

Анализ экспериментальных данных показывает, что увеличение диаметра струи на 40% (от 5 до 7 мм) приводит к возрастанию расхода воды от $Q_1 = 1,1 \cdot 10^{-4} \text{ м}^3/\text{с}$ (для $D = 5$ мм) до $Q_2 = 2,2 \cdot 10^{-4} \text{ м}^3/\text{с}$ при степени эжекции, равной $\mathcal{E} = 0,8$, т. е. практически в 2 раза.

Увеличение диаметра струи при одинаковых расходах приводит к резкому снижению степени эжекции. Так, для струи диаметром $D = 5$ мм и расходе $Q = 2 \cdot 10^{-4} \text{ м}^3/\text{с}$ (рис. 3, кривая 1) степень эжекции составляет $\mathcal{E} = 1,4$, а для струи диаме-

тром $D = 8$ мм при том же расходе степень эжекции составляет $\mathcal{E} = 0,3$ (рис. 3, кривая 3), т. е. в 4,67 раза ниже.

Исследование зависимости степени эжекции воздуха от скорости истечения из сопла форсунки струй кольцевого сечения (рис. 4) и от расхода воды (рис. 5) показывает, что при внешнем диаметре струи кольцевого сечения, равном $D = 8$ мм, степень эжекции воздуха сильно зависит от толщины стенки кольцевой струи.

Так, при внутреннем диаметре кольца струи $d = 7$ мм, что соответствует толщине стенки струи $\delta = 0,5$ мм степень эжекции значительно выше, чем при диаметре $d = 6$ мм (рис. 4, 5, кривые 1, 2), что соответствует толщине стенки $\delta = 1$ мм. Кривые 3 на рис. 4, 5 соответствуют изменению степени эжекции от скорости (рис. 4) и расхода (рис. 5) для струи круглого сечения при диаметре $D = 8$ мм.

Анализ экспериментальных данных показывает, что степень эжекции воздуха струей круглого сечения диаметром $D = 8$ мм при одинаковых расходах (рис. 5, кривая 3) существенно ниже, чем для струй кольцевого сечения с внутренним диаметром кольца $d = 6$ мм (кривая 2) и особенно с $d = 7$ мм (кривая 1).

Установлено, что в случае использования струй кольцевого сечения степень эжекции зависит не только от наружного диаметра кольца, но и от толщины стенки струи, т. е. внутреннего диаметра кольцевого сечения.

Уменьшение толщины стенки струи (увеличение внутреннего диаметра), что соответствует возрастанию отношения площади поверхности струи к ее объему приводит к значительному возрастанию зависимости степени эжекции воздуха от расхода воды.

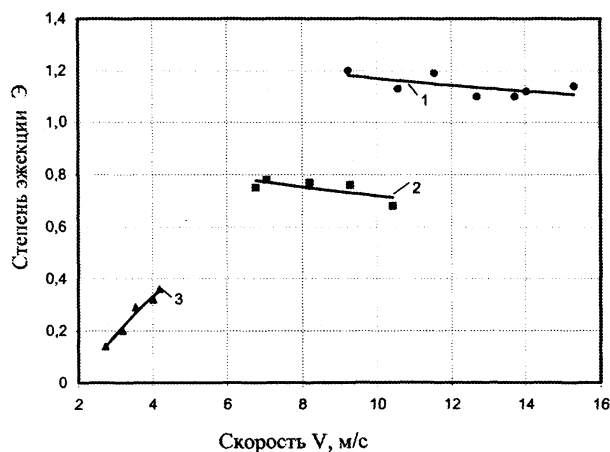


Рис. 4. Влияние скорости истечения воды на степень эжекции воздуха для струй кольцевого и круглого сечений с наружным диаметром $D = 8$ мм: 1 – внутренний диаметр кольца $d = 7$ мм; 2 – 6 мм; 3 – круглое сечение $D = 8$ мм

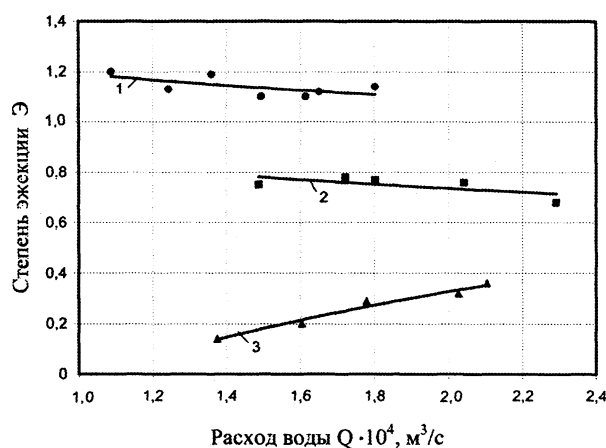


Рис. 5. Влияние расхода воды на степень эжекции воздуха для струй кольцевого и круглого сечений с наружным диаметром $D = 8$ мм: 1 – внутренний диаметр кольца $d = 7$ мм; 2 – 6 мм; 3 – круглое сечение $D = 8$ мм

Выводы

1. В результате проведенных исследований разработана методика, позволяющая определять степень эжекции воздуха водяной струей, используемой в качестве аэратора при флотационной очистке воды в системах оборотного водоснабжения литейных цехов.

2. Разработана конструкция высокоэффективной форсунки, позволяющей формировать струю кольцевого сечения, обеспечивающую резкое снижение энергозатрат на очистку и уменьшение расхода воды.

3. Исследована аэрирующая способность струй круглого и кольцевого сечений с наружным диаметром от 5 до 8 мм и внутренним от 4 до 8 мм (для струй кольцевого сечения).

4. Установлено, что степень эжекции возрастает с уменьшением диаметра для струй круглого сечения, а для струй кольцевого сечения – с уменьшением толщины стенки струи.

5. Сравнение экспериментальных данных, полученных для струй круглого и кольцевого сечений, показывает, что степень эжекции воздуха для струй кольцевого сечения в несколько раз выше, чем для струй круглого сечения при равных расходах.

Разработанная технология струйной аэрации может быть с успехом использована для повышения эффективности очистки воды в системах оборотного водоснабжения современных чугунолитейных и сталелитейных цехов.

Литература

1. Трухов А. П., Маляров А. И. Литейные сплавы и плавка: Учеб. М.: Изд. центр «Академия», 2004.
2. Шабалин А. Ф. Очистка и использование сточных вод на предприятиях черной металлургии. М.: Металлургия, 1968.
3. Мещеряков Н. Ф. Кондиционирующие и флотационные аппараты и машины. М.: Недра, 1990.
4. Некрасов Б. Б. Справочное пособие по гидравлике, гидромашинам и гидроприводам. Мн.: Выш. шк., 1976.